

**В.А. Канин, А.А. Глухов,
А.А. Омельченко, Г.Н. Алехин, В.В. Трофимов,
Г.М. Шварцман, Н.С. Федосова**

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины, Донецк

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СЕЙСМИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ГОРНОГО МАССИВА ДЛЯ СВОЕВРЕМЕННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПО НАПРЯЖЕННОМУ СОСТОЯНИЮ ЗОН ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ВЫЕМКЕ УГЛЯ



Описаны принцип построения и функциональные возможности аппаратно-программного комплекса для сейсмической томографии горного массива, который позволяет в реальном времени получать информацию об аномальных изменениях горно-геологических условий и напряженного состояния массива в процессе механизированной выемки угля, что дает возможность оперативно принимать инженерные решения по управлению выемкой угля или своевременному выполнению профилактических мероприятий. Представлено краткое описание встроенного программного обеспечения для обработки и визуализации результатов сейсмоакустических наблюдений. Приведены основные технические характеристики аппаратурной части комплекса.

Ключевые слова: безопасность горных работ, сейсмическая томография, интроскопия неоднородных сред, аппаратно-программный комплекс, принципиальные схемы, программное обеспечение, лабораторные испытания.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

Для Украины ископаемый уголь при ограниченных запасах нефти и газа является по оценкам специалистов [1] стратегическим сырьем, способным обеспечить ее энергетическую и экономическую независимость. При этом запасов угля достаточно для обеспечения топливно-энергетического комплекса, металлургической и химической промышленности страны и не только на ближайшую перспективу. В связи с этим для украинской экономики нет альтернативы интенсификации добычи угля,

при снижении его себестоимости и, безусловно, снижении аварийности и травматизма при его добыче.

На основании анализа современного состояния угольной промышленности Украины и угледобывающих стран СНГ, обстоятельств и причин аварий, а также сопровождающего их травматизма [2, 3, 4] можно сделать следующий вывод.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения безопасности горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, особенно в сложных горно-геологических условиях, является учет изменения горно-геологических условий и реакции горного массива в процессе выемки угля. Состояние горного

массива является функцией его физико-механических, физико-химических, магнитных, тепловых и других параметров, а также вида и средств технологического процесса выемки угля. В настоящее время на угольных шахтах Украины мониторинг состояния горного массива и его реакции в процессе выемки угля не выполняется. Поэтому технологи не имеют информации о наличии возможных рисков, связанных с возникновением в процессе добычи угля аномальных по напряженному состоянию зон, особенно при работе в лавах с высокой нагрузкой. Необходимые в таких случаях профилактические меры и корректировки технологических параметров своевременно не проводятся.

В зарубежной практике горных работ в последние годы появились методы, позволяющие оценивать состояние массива в реальном времени. Прежде всего, это методы сейсмической томографии, которые считаются наиболее перспективными для целей интроскопии неоднородных сред. В шахтной сейсморазведке при использовании межскважинного сейсмопросвечивания (МСП) используется основанный на общем принципе метод томографии, который базируется на использовании лучевого направления распространения колебаний. Исследуемая область разбивается на зоны. Для каждой из них выбирается совокупность сейсмотрасс, лучи которых проходят через данную зону. На основе значений характеристик, полученных в результате обработки информативных волновых пакетов сейсмотрасс, и длин путей лучей от источника к приемнику оценивается то значение характеристики, которое было бы в сеймотрассе в случае, если бы вся среда имела однородные параметры. Практически это реализуется с помощью аппаратуры ZondST2d, FIRSTOMO, Schlumberger.

Однако применение указанного метода томографии для оценки напряженно-деформированного состояния углепородной толщи в процессе механизированной выемки угля не представляется возможным. *Во-первых*, источником сейсмических волн в этом случае явля-

ется очистной комбайн, движущийся вдоль лавы и, следовательно, источник, как это было принято ранее, не является неподвижным. *Во-вторых*, использование сейсмоакустических станций с интегрированным блоком приема информации, который содержит в одном корпусе все приемные каналы, практически не реализуемо из-за больших помех.

Следовательно, для повышения безопасности горных работ на шахтах, отрабатывающих угольные пласты по столбовой системе разработки, необходимо осуществлять сейсмическую томографию горного массива. Предлагается проводить это путем выполнения многоканальных сейсмоакустических наблюдений, приема, усиления и обработки сейсмоакустических сигналов, компьютерного анализа сигналов и визуализации результатов обработки. При этом в качестве источника сейсмического зондирования использовать упругие колебания, возникающие в процессе разрушения угольного пласта очистным комбайном.

Поскольку различные участки углепородного массива (даже в пределах одного выемочного столба) по-своему уникальны, исходные данные и результаты расчетов необходимо сохранять для последующего, более детального изучения массива и совершенствования алгоритма расчета. Прогресс в области информационных технологий и телекоммуникаций позволяет обеспечить безопасный и оперативный удаленный доступ, распределение и обработку информации в соответствии с потребностями и полномочиями ее потребителей. Поэтому в рамках создания аппаратно-программного комплекса (АПК) для сейсмической томографии горного массива целесообразной является также разработка серверной базы данных сейсмоакустической информации, которая обеспечит удаленный доступ к накопленной им информации и создаст предпосылки ее эффективного использования.

Таким образом, для создания современного мониторинга состояния горного массива, позволяющего своевременно выявлять зоны ано-

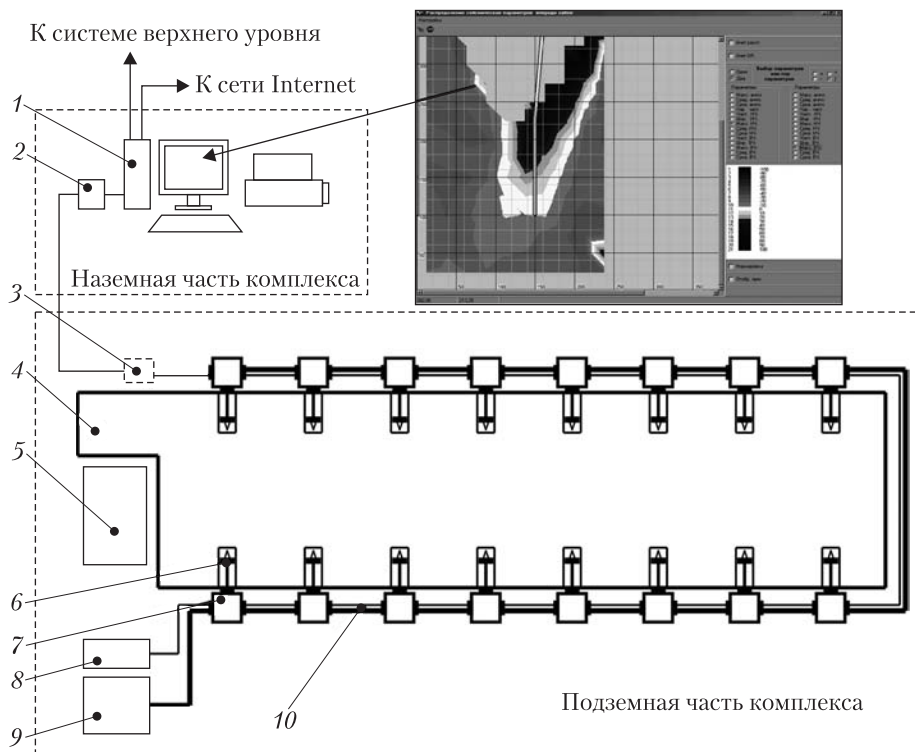


Рис. 1. Структурная схема комплекса: 1 – компьютер с установленным ПО комплекса и подключением к сети Internet; 2 – конвертор RS-485/USB; 3 – повторитель RS-485 (при необходимости); 4 – исследуемый горный массив; 5 – комбайн (источник сейсмических колебаний); 6 – геофоны DF-7V; 7 – устройство ПУ; 8 – сопротивление нагрузки $R = 120 \text{ Ом}$; 9 – блок питания БП12; 10 – кабель связи

мальных напряжений с использованием сейсмической томографии, решались следующие задачи:

- 1) разработка аппаратуры регистрации и первичной обработки сейсмоакустических сигналов;
- 2) разработка программного обеспечения обработки и визуализации сейсмоакустической информации;
- 3) разработка базы данных (БД) для хранения исходных измерений и результатов расчетов, обеспечивающей их удаленное использование в соответствии с потребностями и полномочиями.

СТРУКТУРА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

С учетом вышеставленных задач определена структура аппаратно-программного ком-

плекса сейсмической томографии горного массива (рис. 1).

Аппаратная часть комплекса (АЧК) находится в подземной выработке и содержит устройства приема и обработки сейсмических колебаний, распространяющихся в исследуемом массиве, а также линию связи с поверхностью. Основная часть аппаратуры представляет собой многоканальную сейсмоакустическую станцию, которая в отличие от уже существующих станций имеет распределенную структуру. Получение информации с сейсмоприемников, частотная фильтрация и аналого-цифровое преобразование осуществляются в отдельном канале, расположенном непосредственно рядом с геофоном, а связь с поверхностью реализуется по стандартным цифровым каналам связи. Такая структура позволяет подключить к линии связи необходимое количество сейсми-

ческих каналов, работающих на одну двухпроводную линию в режиме разделения времени. Двусторонний обмен информацией осуществляется в полудуплексном режиме по этой линии. Так, распространенный вариант стандарта цифровой связи RS485 позволяет на одной линии использовать до 256 каналов при скорости до 100 Кбит/с на расстоянии до 1200 м, без использования промежуточных усилителей — репитеров. В этом случае сейсмический канал должен содержать полный комплект узлов и блоков обработки входящей сейсмоакустической информации и устройство для преобразования ее в формат, необходимый для передачи по линии связи.

Поскольку источником акустического сигнала комплекса являются сейсмические волны, которые возбуждаются при работе очистного комбайна, а скорость движения комбайна сравнительно невелика, нет необходимости проводить измерения с периодом в единицы или в десятки секунд. Поэтому весь комплекс работает в циклическом режиме с периодом от десятков секунд до нескольких минут.

Цикл измерения содержит следующие операции:

- ✦ по сигналу датчика положения комбайна одновременно включаются на запись все приемные сейсмические каналы;
- ✦ в каждом из каналов сигнал фильтруется, преобразуется в цифровую форму и сохраняется в памяти;
- ✦ после записи в течение заданного времени система переходит в режим ожидания, а затем по сигналу с поверхности происходит последовательный или с произвольной выборкой опрос каналов с сохранением информации.

Циклический режим работы определил особенность работы устройств комплекса. Интервал времени между циклами позволяет провести не только однократное считывание информации всех каналов, но и его многократное (при необходимости) повторение. Это позволяет реализовать мажоритарную упро-

щенную систему повышения помехоустойчивости и достоверности принимаемой информации. Такая система по сравнению с другими системами повышения помехоустойчивости (использование контрольных сумм, циклических кодов и т.д.) в данном случае будет наиболее эффективной. Также существенным отличием работы комплекса от обычного проведения геофизических сейсморазведочных работ является изменение местоположения источника сейсмических волн (комбайна) с соответствующим изменением уровня сигналов для каждого из каналов. Для поддержания оптимального уровня сигнала в каждом из каналов была разработана автоматическая регулировка усиления.

При проведении измерений определяются экстремальные значения сигнала — максимальное и минимальное. Эти значения сравниваются с номинальными значениями сигнала — верхним и нижним уровнями (окно — зона допустимых значений). Если экстремальные значения сигнала входят в зону допустимых значений, то коэффициент усиления предварительного усилителя не изменяется. Если экстремальные значения больше номинальных (предельных), то коэффициент усиления уменьшается с заданным шагом, в противном случае увеличивается с тем же шагом. Таким образом, автоматическая регулировка усиления работает циклично и не вносит искажений в принимаемый сигнал.

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ КОМПЛЕКСА

Основой аппаратной части комплекса является приемное устройство (ПУ), включающее сейсмодатчик (геофон), устройство предварительной обработки сейсмических колебаний, предварительный усилитель и устройство соединения. Устройства выполнены с учетом взрывозащиты (уровень РО согласно ГОСТ 12.2.020-76), поэтому могут быть использованы во всех выработках угольных шахт, включая и выработки, опасные по газу или пыли.

Требования к устройству ПУ в целом:

Количество устройств, шт. не менее 16

Требования к предварительному усилителю:

Входное сопротивление, кОм, не менее 100
 Минимальный измеряемый сигнал, мкВ не более 50
 Максимальная рабочая частота, Гц не менее 1000
 Уровень взрывозащиты не менее РВ

Требования к устройству соединения:

Порядок фильтра не менее 3
 Количество разрядов аналого-цифрового преобразователя, ед. не менее 8
 Максимальная рабочая частота, Гц не менее 1000
 Объем промежуточной памяти, кбайт не менее 2
 Уровень взрывозащиты не менее РВ

Основные требования к усилителям сейсмоакустических сигналов:

- ✦ линейность амплитудно-частотной (при необходимости амплитудно-фазовой) характеристики в полосе пропускания;
- ✦ большой динамический диапазон принимаемых сигналов;
- ✦ низкий уровень шума и наличие защиты от синфазных препятствий.

Поскольку частотный диапазон усилителя в данном случае небольшой (согласно техническому заданию до 1000 Гц), то линейность амплитудно-частотной характеристики достигается использованием правильного выбора режимов работы активных элементов и использованием глубоких отрицательных обратных связей. Получение необходимого динамического диапазона усилителя достигается использованием регуляции усиления. Обычно регуляция усиления осуществляется изменением сопротивления резистора в цепи обратной связи.

Поскольку работа АЧК предусматривается в условиях горных выработок, то управление параметрами осуществляется дистанционно из поверхности шахты. Это вызывает необходимость в использовании элементов, управляемых электрическим путем, аналоговым или цифровым сигналом. Для регуляции усиления в данном случае используются электронные потенциометры.

Основные параметры электронных потенциометров: ряд номинальных значений, дискретность регуляции, протокол управления. Были выбраны электронные потенциометры фирмы MICROCHIP типа MCP41XXX, где XXX — номинальное значение сопротивления. Достоинства выбранных потенциометров — сравнительно низкая стоимость, доступность, дискретность регуляции 256 степеней, распространенный протокол управления SPI.

Для правильной работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в схему предварительного усилителя введен стабилизатор напряжения постоянного смещения. В состав устройства соединения входят: фильтр низкой частоты; микропроцессор; микросхема памяти; приемник-передатчик стандарта RS485; стабилизаторы напряжения питания. Фильтр низкой частоты ограничивает полосу частот, которые принимаются в необходимом диапазоне. Одновременно фильтр выполняет функции *anti-aliasing* фильтра для предотвращения наложения спектра при аналого-цифровом преобразовании. Фильтр выполнен на микросхеме MAX7400 фирмы MAXIM. Микросхема работает на коммутированных конденсаторах и является эллиптическим фильтром восьмого порядка. Управляющая частота, равная $100 F_{\text{ср}}$ (где $F_{\text{ср}}$ — частота среза фильтра), формируется микроконтроллером.

При разработке принципиальной схемы устройства соединения использовался микроконтроллер PIC16F690, который в качестве периферийных устройств содержит десятиразрядный АЦП и аппаратные преобразователи стандартов SPI и RS232. Большое количество портов обмена позволило организовать внутрисхемное программирование и все необходимые цепи управления. В качестве памяти использовалась микросхема 23K256 фирмы MICROCHIP. Микросхема является последовательной SRAM вместимостью 256 кбит с организацией $32,768 \cdot 8$ бит. Микросхема изготовлена по CMOS-технологии. Приемник-передатчик стандарта RS485 выполнен на микросхеме

MAX485(487) фірми MAXIM. Стабілізатори напруги LP2950 фірми NATIONAL SEMICONDUCTOR являються структурами з широкими границями змінення входного напруги і підвищеної надійності.

Для приєма інформації, отриманої з підземної частини комплексу її перетворення в формат, який використовується основною програмою обробки сейсмоакустичної інформації, була розроблена програма SeismosP. Для управління підземною частиною комплексу, приєма і обробки інформації, а також установлення експлуатаційних параметрів комплексу була розроблена програма SeimosA. Згадані програми використовують побайтовий принцип кодування керуючої інформації. Команди розділяються на *общіє*, які діють одночасно на всі підключені до лінії пристрою ПУ, і *каналніє*, які містять адресу вибраного пристрою ПУ (каналу).

Готові плати з попереднім підсилювачем і пристроєм з'єднання поміщаються в корпус, виконаний з антистатичного пластику LEXAN в формі прямокутного паралелепіпеда. В середині корпус розділений на два відділення — відділення вводу і апаратне відділення. В трьох бокових частинах корпусу є три отвори для кабельних ввів з резиновими ущільненнями. Корпус закривається кришкою при допомозі чотирьох болтових з'єднань. Внутрі апаратного відділення розміщені плати з електронними компонентами попереднього підсилювача і пристрою з'єднання. Готове пристрій ПУ показано на рис. 2.

ПРОГРАМНЕ ОБЕСПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ І ВИЗУАЛІЗАЦІЇ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В основу програмного забезпечення обробки сейсмоакустичної інформації покладено підхід *модель—представлення—контролер*. Но з урахуванням того, що програма реалізована як сервіс операційної системи, не маючий інтерфейсу користувача, елемент «представлення»

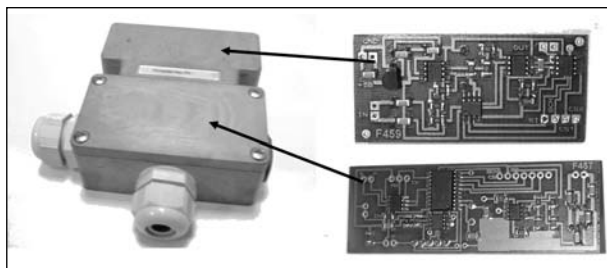


Рис. 2. Зовнішній вигляд і друковані плати пристрою приєма і обробки сейсмічних коливань (ПУ)

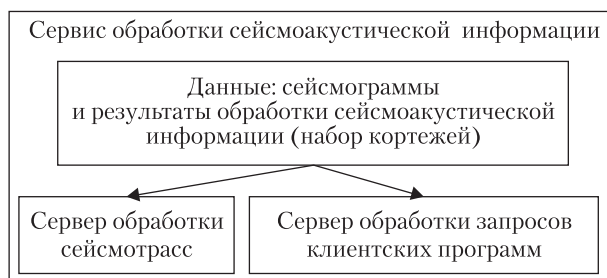


Рис. 3. Структура програми обробки сейсмоакустичної інформації

не реалізовувався (рис. 3). Для кожного компонента програми виділено окрему потік. По тому модель даних розроблялась з урахуванням коректного одночасного доступу декількох потоків до розділюваної інформації.

Сервер обробки сейсмоакустичної інформації створює ряд об'єктів синхронізації операційної системи для відслідковування змін в розділі реєстра параметрів сервісу і директоріях файлів даних сейсмоприємників і записів сейсмоакустичної інформації. Установка одного або декількох створених об'єктів синхронізації в сигнальне стання приводить до негайного виклику відповідного обробника, що в більшості випадків приводить до переадресації обробки події об'єкту сейсмоакустичних даних. На рис. 4 наведено загальну блок-схему основної функції сервера. Все час між оновленнями параметрів системи або файлів даних основної потік сервера знаходиться в сплячому режимі, виходячи з нього тільки для перевірки переривання роботи при зупинці сервісу, забезпечуючи та-

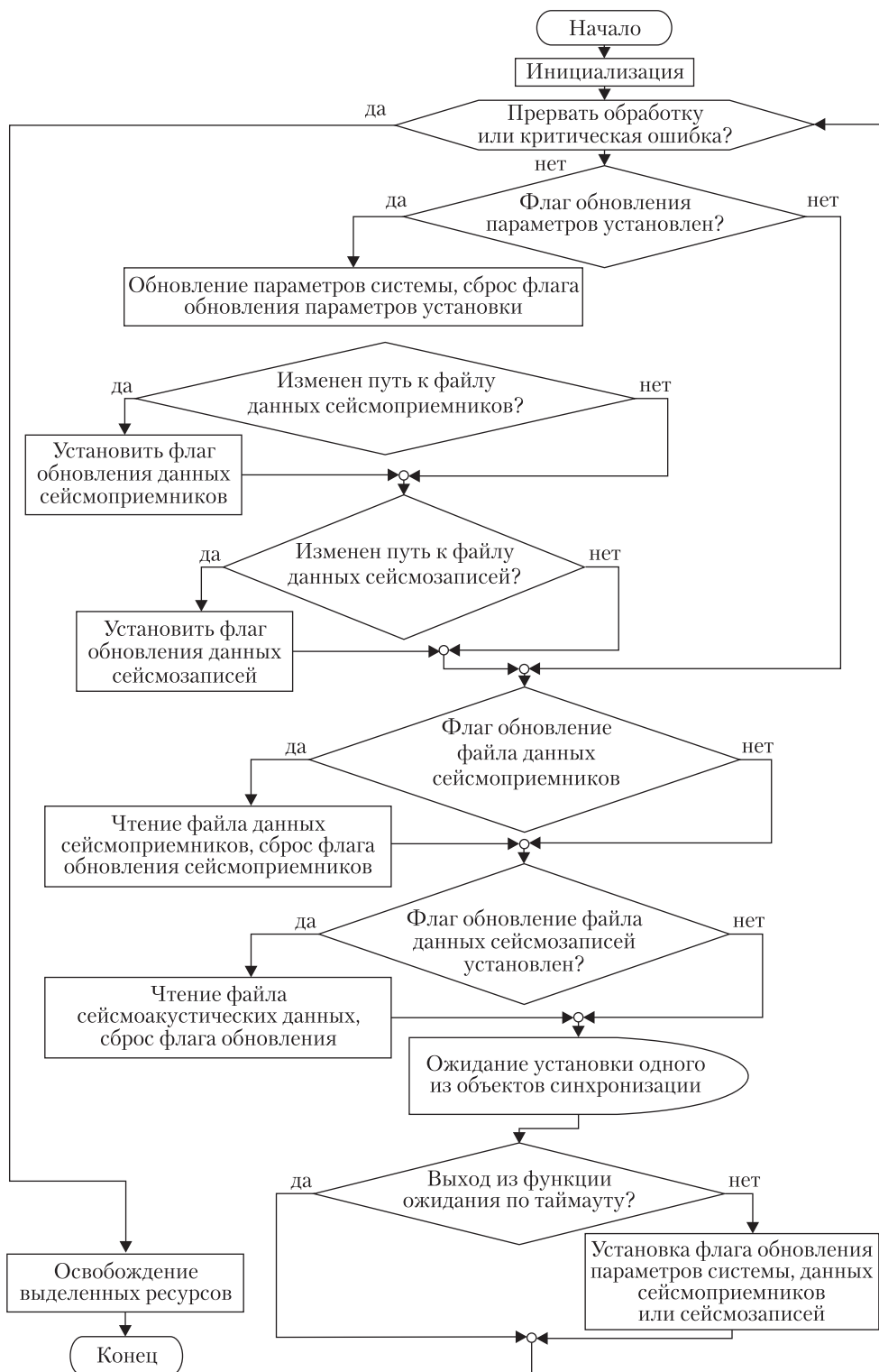


Рис. 4. Блок-схема алгоритма основной функции сервера обработки сейсмоакустической информации

ким образом корректное завершение работы с освобождением всех выделенных ресурсов.

С целью обеспечения множественного доступа клиентской части программного обеспечения к данным результатов обработки сейсмоакустической информации для каждого запроса выделяется отдельный канал связи, обслуживание которого выполняется в отдельном потоке. Эту задачу решает сервер обработки клиентских запросов. Таким образом, количество одновременно обслуживаемых клиентских программ ограничено только ресурсами операционной системы.

Как и сервер обработки сейсмоакустической информации, сервер обработки запросов постоянно находится в режиме ожидания подключения клиента для передачи результатов обработки данных сейсмической томографии (рис. 5). Для обработки нового соединения выделяется отдельный поток, после чего сервер создает новый экземпляр канала связи и переходит в режим ожидания следующего подключения.

Алгоритм работы потока обработки запросов клиентского программного обеспечения построен на основе конечного автомата, имеющего три состояния: *соединение*, *чтение запроса*, *передача данных*. Соединение с клиентом может поддерживаться постоянно либо сразу закрывается после выполнения обмена данными. Закрытие соединения приводит к освобождению всех выделенных ресурсов и канала связи и выходу из основной функции потока.

Следует заметить, что используемый интерфейс операционной системы для создания канала связи (*pipe*) поддерживает доступ к удаленной рабочей станции. Основным требованием является наличие постоянного IP-адреса на компьютере серверной части. Данные о положении сейсмоприемников, комбайна и исходные сейсмограммы являются входными для программного обеспечения обработки сейсмоакустической информации. Результаты обработки этих данных собираются в кортежи, которые могут быть сохранены на устройствах постоянного хранения информации либо по за-

просу переданы клиентским программам для последующей обработки.

Перед чтением и обработкой сейсмозаписей производится запрос к базе данных для получения положения комбайна в момент записи сигнала. Таблица базы данных положения комбайна должна содержать поля, представляющие следующую информацию:

- ✦ временной штамп — время занесения данных о положении комбайна в базу данных;
- ✦ значение, считанное с датчика положения комбайна в лаве;
- ✦ флаг ошибки датчика положения комбайна в лаве;
- ✦ флаг наличия связи с датчиком положения комбайна в лаве.

Имена полей могут быть произвольными и задаются в настройках программы.

Выходные данные программа обработки сейсмоакустической информации предоставляет в виде набора кортежей, каждый из которых содержит результаты вычислений параметров сеймотрасс и их статистику. При запуске или завершении работы программы выполняется соответственно считывание или запись текущего набора кортежей на постоянные носители информации. Вся служебная информация о работе программы (в том числе сообщения об ошибках) записывается в системный журнал событий операционной системы и может быть в любой момент просмотрена оператором. Таким образом, оператор имеет возможность определить причину ошибки и произвести необходимые действия для её устранения.

Так как программное обеспечение не имеет интерфейса пользователя, настройка параметров реализована через системный реестр. Программа обработки постоянно находится в режиме ожидания изменений в соответствующем ключе реестра и выполняет необходимые действия в ответ на добавление, удаление или изменение значений отслеживаемых параметров. На случай отсутствия части или всех параметров предусмотрены значения по умолчанию. Клиентская часть разработана как программное

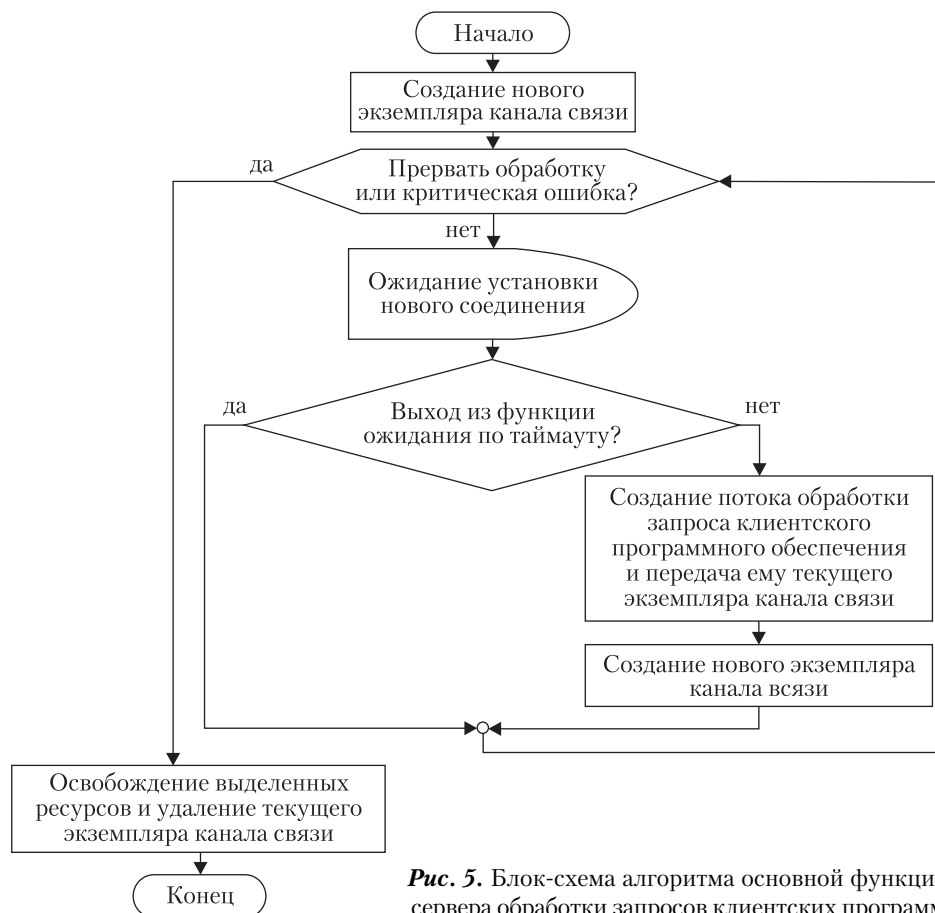


Рис. 5. Блок-схема алгоритма основной функции сервера обработки запросов клиентских программ

обеспечение отображения результатов обработки. В его основе лежит принцип, базирующийся на использовании лучевого представления о распространении колебаний.

Итак, исследуемый участок разбивается на зоны e_{ij} . Для каждой из e_{ij} выбирается совокупность K сейсмотрасс, лучи которых проходят через данную зону. На основе значений характеристик A_k (полученных в результате обработки информативных волновых пакетов сейсмотрасс), длин путей лучей от источника до приемника R_k и длин их путей $r_{k,ij}$ по e_{ij} оценивается то значение характеристики A_{ij} , которое было бы у сейсмотрасс в том случае, если бы вся среда имела такие же параметры, как в зоне e_{ij} . При этом в ходе обработки сейсмотрасс предполагается, что колебания распространяются от ПВ до СП по прямой линии, поскольку на присущих методу сейсми-

ческого просвечивания малых базах наблюдений реальные отклонения в большинстве случаев не превышают долей длин волн.

Обработка кортежей представляет собой расчет распределения информативных сейсмических параметров в плоскости лавы. Первый этап процедуры – определение прямоугольной области, ограничивающей зону наблюдений. Поскольку набор кортежей каждый раз изменяется, то ограничивающая область также изменяется со временем. При этом неважно, что часть кортежей в наборе может относиться к моменту времени, когда комбайн еще находится в области, уже отработанной к моменту формирования кортежей, либо когда положение сейсмоприемников было иным. На информативность подхода эти факторы не влияют. Затем прямоугольная область разбивается на квад-

ратные участки e_{ij} . После разбивки зоны наблюдений на ячейки томографической решетки производится расчет следующих параметров либо их линейных комбинаций:

- ✦ максимальная амплитуда колебаний частиц среды при распространении волнового поля;
- ✦ средняя амплитуда колебаний частиц среды;
- ✦ среднеквадратичная амплитуда колебаний частиц среды;
- ✦ характерная частота колебаний частиц среды;
- ✦ расположение низкочастотного максимума амплитудно-частотной характеристики (АЧХ);
- ✦ ширина низкочастотного максимума АЧХ (по уровню половины значения максимума);
- ✦ значение амплитуды низкочастотного максимума АЧХ;
- ✦ среднее значение амплитуды низкочастотной составляющей АЧХ;
- ✦ среднеквадратичное значение амплитуды низкочастотной составляющей АЧХ;

- ✦ расположение высокочастотного максимума АЧХ;
- ✦ ширина высокочастотного максимума АЧХ (по уровню половины значения максимума);
- ✦ значение амплитуды высокочастотного максимума АЧХ;
- ✦ среднее значение амплитуды высокочастотной составляющей АЧХ;
- ✦ среднеквадратичное значение амплитуды высокочастотной составляющей АЧХ.

Обрабатываются только те области, через которые проходят сейсмические лучи. Поэтому в зависимости от расположения системы наблюдений «мертвая зона» может иметь различную конфигурацию. Как правило, это треугольная область по центру обрабатываемого пространства между наиболее удаленными сейсмоприемниками.

Изображение выводится в заданном масштабе и сопровождается координатной сеткой (см.

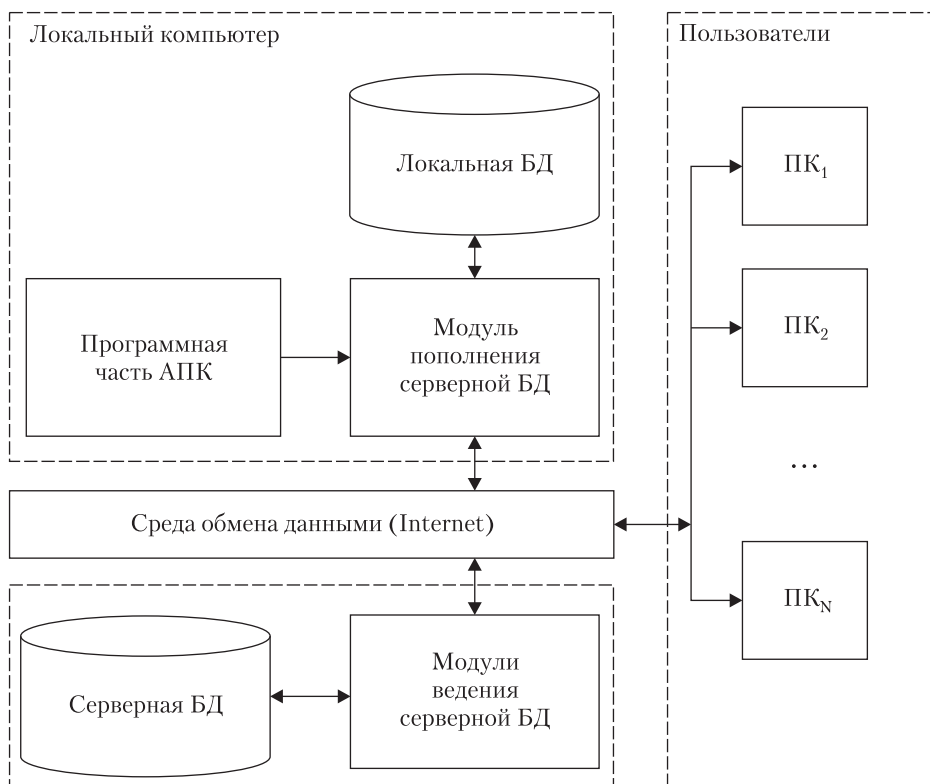


Рис. 6. Структура хранения данных в АПК

рис. 1). Кроме этого, при движении курсора по области отображения сейсмической информации в первых двух сегментах панели статуса (в левом нижнем углу экрана) выводятся текущие координаты. При выводе информации используется заданная цветовая гамма, отображаемая в специальном окне. Предусмотрено схематическое отображение расположения горных выработок и конфигурации схемы наблюдения.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ИСХОДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Функционирование аппаратно-программного комплекса для сейсмической томографии горного массива предусматривает автоматическую регистрацию определенного объема информации о состоянии природной среды угледобывающего предприятия. Для обеспечения оперативного и надежного доступа пользователей к результатам расчетов и исходным данным в любое время независимо от состояния программ и оборудования АПК оптимальной является схема взаимодействия АПК → серверная БД → потребитель (рис. 6).

При такой структуре исходные данные и результаты расчета томограмм модулем пополнения серверной БД сохраняются (временно) в локальной БД и затем при первой возможности через среду передачи данных (Internet) записываются в серверную БД. В дальнейшем информация, успешно записанная в серверную БД, может быть удалена из локальной БД или сохранена для дальнейшего использования или обеспечения надежности хранения накопленных данных путем дублирования.

Серверная БД, предназначенная для постоянного хранения сейсмоакустической информации от одного или нескольких аппаратно-программных комплексов сейсмической томографии, должна размещаться на отдельном сервере. Модули ведения серверной базы данных функционируют на сервере БД и предназначены для получения сейсмоакустической информации от модуля пополнения серверной БД и реализации базовых операций хранения сейсмоакустичес-

кой информации: добавление, изменение (корректировка) и удаление. Кроме того, модули ведения серверной БД обеспечивают обработку запросов от компьютеров пользователей и обеспечивают выборку и выдачу им сейсмоакустической информации по заданным критериям в рамках полномочий пользователей.

Такая структура и алгоритм взаимодействия локальной и серверной БД легко реализуемы с использованием свободно распространяемого программного обеспечения (MySQL, Perl).

ВЫВОДЫ

В рамках выполнения научно-технического проекта «Разработка аппаратно-программного комплекса для сейсмической томографии горного массива с целью своевременного выявления аномальных по напряженному состоянию зон при механизированной выемке угля на угольных шахтах Украины» разработан аппаратно-программный комплекс. В реальном времени этот комплекс позволяет регистрировать аномальные изменения горно-геологических условий и напряженного состояния массива для оперативного принятия инженерных решений по управлению процессом выемки угля или своевременному выполнению профилактических мероприятий.

При выполнении работ получены такие основные результаты:

- 1) с учетом современного технического уровня и анализа преимуществ/недостатков существующих подобных комплексов впервые в Украине и странах СНГ разработана структура аппаратно-программного комплекса для сейсмической томографии горного массива;
- 2) согласно требованиям взрывобезопасности разработаны принципиальные схемы и программное обеспечение аппаратной части комплекса (предварительного усилителя и устройства соединения). При проектировании принципиальных схем использованы современные схмотехнические решения, элементная база (микроконтроллеры) и интерфейсы обмена данными (SPI, RS-485);

3) лабораторними дослідженнями підтверджено відповідність параметрів попереднього усилителя і пристрою з'єднання вимогам технічного завдання і рівня безпеки, що засвідчено відповідним протоколом і актом;

4) відповідність апаратної частини комплексу вимогам нормативно-правових актів по охороні праці і промислової безпеки і можливість його застосування в вугільних шахтах України підтверджено позитивним висновком експертизи МакНІІІ;

5) реалізація програмного забезпечення обробки сейсмоакустичної інформації в формі багатопотокового системного сервісу дозволила підвищити ефективність використання ресурсів ЕВМ; крім того, всі структури внутрішніх даних розроблені в формі шаблонів для забезпечення можливості підвищення або зменшення точності, що також дозволяє керувати витратами;

6) розроблені алгоритми обробки і візуалізації сейсмоакустичної інформації, на основі яких створені відповідні програмні модулі, детально перевірені з допомогою спеціально створених програм, які генерують випадкові квазігармонічні і інші спеціальні сигнали;

7) з метою подальшого використання в наукових дослідженнях інформації, яку накопичує розроблений апаратно-програмний комплекс, створена серверна БД сейсмоакустичної інформації, яка забезпечує віддалений доступ до накопленої інформації і створює передумови її ефективного використання;

8) в відповідності до стандартів розроблені програмна документація, програма і методика випробувань розробленого програмного забезпечення і серверної бази даних сейсмоакустичної інформації і проведені відповідні випробування, які підтвердили виконання програмним забезпеченням заявлених функцій;

9) апаратно-програмний комплекс для сейсмічної томографії гірничого масиву пройшов

приймальні випробування в відповідності до програми і методики приймальних випробувань (ПМ 1НТП/11) з позитивним результатом;

10) в промислових умовах апаратно-програмний комплекс для сейсмічної томографії гірничого масиву буде випробувано в 2012 році на одній з шахт, де ГП «Петровський завод вугільного машинобудування» впроваджує систему безпеки УТАС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Novikov V.I., Chuprun V.P., Gradushchyy B.A., Gradushchyy Yu.B.* Prospects of ukrainian coal industry development for the branch restructuring [Електронний ресурс] Спосіб доступу <http://www.unecsc.org/fileadmin/DAM/ie/se/pdfs/coal8/csd2feb06/Topic8/Ukraine.pdf>.
2. *Пашковський П.С.* Комплексна оцінка аварійної небезпеки шахт // Вугілля України. – 2008. – № 2. – С. 21–23.
3. *Кашуба О.І.* Аналіз причин травматизму на шахтах України // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Сер. Гірництво – 2008. – № 17 – С. 172–177.
4. *Галимуллин Ф.З.* Промисловий травматизм в період реструктуризації вугільної промисловості // Безпека праці в промисловості. – 2008. – № 1 – С. 12–14.
5. *Устройство обработки сейсмических сигналов.* Пат. № 2018883 С1 Росія: МПК G 01 V 1/28. / Б.Г. Келесаєв, Росія. – № 5060936/25; заявл. 30.06.92.
6. *Санфиоров И.А.* Контроль стану гірничого масиву методами багатоволнової шахтної сейсморозвідки // Гірничий вісник. – 1998. – № 6. – С. 94–99.

В.О. Канін, О.О. Глухов, А.А. Омельченко, Г.М. Альохін, В.В. Трофимов, Г.М. Шварцман, Н.С. Федосова

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС СЕЙСМІЧНОЇ ТОМОГРАФІЇ ГІРНИЧОГО МАСИВУ ДЛЯ СВОЄЧАСНОГО ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНИХ ПО НАПРУЖЕНОМУ СТАНУ ЗОН ПРИ МЕХАНІЗОВАНИЙ ВИЙМЦІ ВУГІЛЛЯ

Описано принцип побудови й функціональні можливості апаратно-програмного комплексу для сейсмічної томографії гірничого масиву, який дозволяє у реальному часі отримати інформацію про аномальні зміни гірничо-геологічних умов і напруженого стану масиву в процесі механізованої виймки вугілля, що дає можливість оперативно приймати інженерні рішення по управлінню виймою вугілля або своєчасному виконанню профілактичних заходів. Наведено короткий опис вбудованого програмного забезпечення для обробки і візуалізації результатів сейсмоакустичних спостережень. Наведені основні технічні характеристики апаратної частини комплексу.

Ключові слова: безпека гірничих робіт, сейсмічна томографія, інтроскопія неоднорідних середовищ, апаратно-програмний комплекс, принципові схеми, програмне забезпечення, лабораторні випробування.

V.A. Kanin, A.A. Glukhov, A.A. Omelchenko, G.N. Alekhin,
V.V. Trofimov, G. M. Schwartzman, N.S. Fedosova

BUNDLED HARDWARE AND SOFTWARE
FOR SEISMIC TOMOGRAPHY OF ROCK MASS
FOR TIMELY DETECTION OF STRESS-DEFORMED
STATE OF ANOMALOUS ZONES IN THE PROCESS
OF MECHANIZED COAL WINNING

The principle of building and advanced functions of bundled hardware and software for seismic tomography of rock

mass is described. The bundled hardware and software enable to get real-time data on anomalous changes in mining and geologic conditions and stress-deformed state of rock mass in the process of mechanized coal winning that contributes to making engineering decisions on-the-fly either on coal winning control or on timely execution of preventive measures. A brief description of the embedded software for processing and visualizing acoustic measurements is given. Hardware key specifications are shown.

Key words: mine safety, seismic tomography, nondestructive testing of inhomogeneous subsurface, bundled hardware and software, circuit diagrams, software, preproduction test.

Стаття надійшла до редакції 11.04.12

**В УКРАЇНІ
ЗАРЕЄСТРОВАНО
100-ТИСЯЧНИЙ
ПАТЕНТ НА ВИНАХІД!**

12 листопада 2012 року Державною службою інтелектуальної власності України до відповідного державного реєстру внесено сотисячний патент України на винахід «Спосіб підвищення ефективності хіміотерапії резистентних до хіміотерапії злякисних пухлин».



Винахід належить до медицини, зокрема онкології.



ПЗаявником та власником патенту є Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України (Інститут), який уже понад 50 років займається науковим пошуком у галузі експериментальної та клінічної онкології.



Автори винаходу — співробітники відділу біохімії пухлинного росту: Залеток Софія Петрівна, Орловський Олексій Аркадійович, Шляховенко Володимир Олексійович, Кленов Олег Олександрович, Самойленко Олена Анатоліївна, Гоголь Сергій Володимирович, Карнаушенко Олена Володимирівна, Вербіненко Алла Віталіївна. Науковці відділу є авторами вже 18 патентів України на винаходи та корисні моделі.



Відомості про видачу патенту № 100 000 опубліковано в офіційному бюлетені «Промислова власність» № 21 за 2012 рік.